

## INFLUÊNCIA DO REJEITO DE CARVÃO MINERAL APLICADO NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Kelyn Rodrigues Moreno (1), Agenor De Noni Junior (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)kelynmoreno@hotmail.com, (2)agenordenoni@gmail.com

### RESUMO

O carvão mineral da região sul do Brasil, possui baixo poder calorífico e muitos minerais acessórios, gerando grande quantidade de rejeito. Este subproduto é depositado e sem aplicabilidade. No passado, seu descarte inapropriado trouxe impactos negativos a região sul do Estado de Santa Catarina. O reaproveitamento deste material é de extrema importância social, ambiental e econômica. O objetivo da pesquisa foi estudar a influência do rejeito de carvão mineral aplicado na massa asfáltica, e avaliar a possibilidade de incorporar as demais camadas do pavimento. O rejeito de carvão mineral estudado é da formação Barro Branco localizado na região do município de Forquilha-SC, e proveniente do beneficiamento do carvão e processado em jig. Para o revestimento asfáltico foram dosadas misturas de acordo com a metodologia Marshall (DNER-ME 043/95) para determinar o teor ótimo de ligante. Estabelecido o teor ótimo de ligante, foram moldados corpos de prova e ensaiados para obtenção da resistência à tração por compressão diametral. Para o estudo do rejeito de carvão granular, foi determinado a umidade ótima a partir do ensaio de compactação e moldado um corpo de prova para obtenção do valor de resistência à penetração. Os resultados destes ensaios mostraram que 2% de rejeito de carvão na massa asfáltica acresceu em aproximadamente 14% a resistência em comparação com a mistura de referência. A partir dos resultados apresentados nos ensaios, o uso do rejeito de carvão mineral na pavimentação asfáltica pode ser um recurso para reduzir os impactos ambientais e dar utilidade ao mesmo.

*Palavras-Chave: rejeito de carvão, misturas asfálticas, índice suporte califórnia, resistência à tração.*

### 1. INTRODUÇÃO

O pavimento é formado por camadas que tem como objetivo resistir as cargas geradas pelo tráfego, proporcionando mais segurança, conforto e economia.

A estrutura do pavimento é composta por quatro principais camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e subleito. A finalidade do revestimento asfáltico é resistir e transmitir os esforços verticais e horizontais de forma mais atenuada às camadas inferiores, além de impermeabilizar (Bernucci, 2006). A base, sub-base e subleito tem importância estrutural, e desta forma limita as tensões que causam o trincamento e o

afundamento da trilha de roda, reduzindo assim o período da vida útil do pavimento (Franco, 2007).

A possibilidade de esgotamento dos recursos naturais, além dos efeitos causados ao meio ambiente com a extração dos agregados, traz preocupação e amplia as perspectivas para novos estudos de materiais alternativos aplicados na pavimentação. Na década de 40, a queima do carvão mineral para produção de energia no Estado de Santa Catarina era pequena, o que não gerava grandes danos ambientais. Porém, pouco se fazia para evita-los. Segundo Zilli (2002), na década de 60, com a mecanização nas minas, e nas décadas de 70 e 80 com o aumento da produção, a quantidade de rejeito de carvão mineral e o impacto negativo para o meio ambiente trouxe contaminação.

Sabe-se que o carvão mineral no Brasil possui significativa quantidade de pirita e minerais de rochas sedimentares, ou seja, altos teores de impurezas (et.al. Filho, 2013). Como o carvão mineral explorado na região sul do Estado de Santa Catarina, é conhecido por ser de baixa qualidade (alto teor de impurezas), gerou-se muito rejeito. O rejeito de carvão mineral possui basicamente a fração dura (quartzo), fração mole (argila litificada) e pirita, que se encontra em menor quantidade. “Rejeitos são resíduos sólidos resultantes das operações de beneficiamento e metalurgia extrativa” (Schneider, 2009). Quando dispostos de forma inadequada causam graves problemas ao solo, ar e água através de lençóis freáticos e rios. Em Santa Catarina o problema é ainda maior, pois a grande concentração de enxofre nas jazidas torna o rejeito mais perigoso.

Baseando-se na metodologia de Pavei (2014), a pesquisa tem como objetivo verificar a influência da adição de rejeito de carvão mineral em substituição parcial do agregado mineral na resistência a tração de misturas asfálticas, e ainda avaliar o material na aplicação para as demais camadas do pavimento.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 MATERIAIS**

#### **2.1.1 Agregados**

Os agregados utilizados são de origem basálticas e foram fornecidos pela empresa Confer Construtora - Britador, localizada em Bom Jardim da Serra – SC.

Figura 1 – Agregados minerais utilizados na pesquisa.



(a) Brita ¾"

(b) Pedrisco

(c) Pó de Pedra

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

### 2.1.2 Ligante asfáltico

O ligante asfáltico (Figura 2) empregado na pesquisa foi fornecido pela CBB – Asfaltos, de CAP 50/70.

Figura 2 – Ligante asfáltico.



Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

### 2.1.3 Rejeito de carvão mineral

O rejeito de carvão mineral (Figura 3) é da camada Barro Branco, localizada na região do município de Forquilha – SC. Este material é proveniente do beneficiamento do carvão e processado em jigue.

Figura 3 – Rejeito de carvão mineral: a) granulometria graúda, b) retido na peneira de malha #80.



Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

## 2.2 MÉTODOS

A pesquisa consistiu em moldar corpos de prova cilíndricos de concreto asfáltico usinado a quente, onde a granulometria estabelecida foi a Faixa “C” do Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA). Foram moldados corpos de prova de misturas asfálticas sem e com adição de rejeito de carvão mineral. Utilizou-se diferentes porcentagens (1%, 2% e 3%) de rejeito de carvão em substituição ao agregado mineral. Para o estudo do material como aterro, foi moldado um corpo de prova com 100% de rejeito de carvão mineral para obtenção da resistência à penetração através do método CBR.

### 2.2.1 Caracterização do agregado e rejeito

Os ensaios de caracterização dos agregados foram realizados no Laboratório de Valorização do Carvão Mineral (LabValora). Na execução da mistura asfáltica o Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LMSP), e para caracterização

química do rejeito de carvão, o Centro de Caracterização de Materiais (CECAM), no Parque Científico e Tecnológico, da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

#### **2.2.1.1 Agregados mineral**

Foram realizados os seguintes ensaios para caracterização do agregado:

- Granulometria (DNER–ME 083/98);
- Equivalente de Areia (DNER–ME 054/97);
- Densidade e absorção (DNER–ME 081/98);
- Sanidade (DNER–ME 089/94);
- Adesividade (DNER–ME 078/94);
- Densidade real e aparente (DNER–ME 084/95).

#### **2.2.1.2 Rejeito de carvão mineral**

Para caracterizar o rejeito de carvão mineral foram feitos os seguintes ensaios:

- Granulometria (DNER–ME 083/98);
- Abrasão Los Angeles (DNER–ME 035/98);
- Densidade e absorção (DNER–ME 081/98);
- Densidade real e aparente (DNER–ME 084/95);
- Adesividade (DNER–ME 078/94);
- Densidade do material finamente pulverizado (DNER–ME 085/94);
- Índice de forma (DNER–ME 086/94);
- Difração de Raios-X;
- Composição química;
- Análises de caracterização e classificação de resíduos sólidos (ABNT NBR 10004:2004);
- Índice Suporte Califórnia – ISC (ABNT NBR 9895:2016).



### 2.2.2 Dosagem das misturas asfálticas

Para a dosagem de misturas asfálticas são levados em conta procedimentos que avaliam a granulometria do agregado, teor ótimo de ligante, energia de compactação, temperatura, carga e o tipo de mistura. Atualmente, o método mais comumente utilizado no país é o método de dosagem Marshall para misturas asfálticas (DNER-ME 043/95) (BERNUCCI, 2007, p.207). Seguindo os procedimentos estabelecidos, foram moldados 3 corpos de prova (Figura 4) para cada porcentagem de rejeito de carvão mineral (1, 2 e 3%), utilizando o teor ótimo de ligante encontrado para a mistura asfáltica convencional (4,1%).

Figura 4 – Corpos de prova moldados com adição de rejeito de carvão.



Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

### 2.2.3 Resistência à tração por compressão diametral.

Os corpos de prova com e sem adição de rejeito de carvão foram submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral (Figura 5), de acordo com a norma DNIT 136/2010 – ME. Desta forma, obteve-se o valor de resistência à tração para os diferentes teores de 1, 2 e 3% de rejeito de carvão, que em seguida foi comparado ao teor ótimo da mistura asfáltica convencional.

Figura 5 – Rompimento dos corpos de prova: a) Corpo de prova na prensa, b) aparência do corpo de prova após o rompimento.



(a)



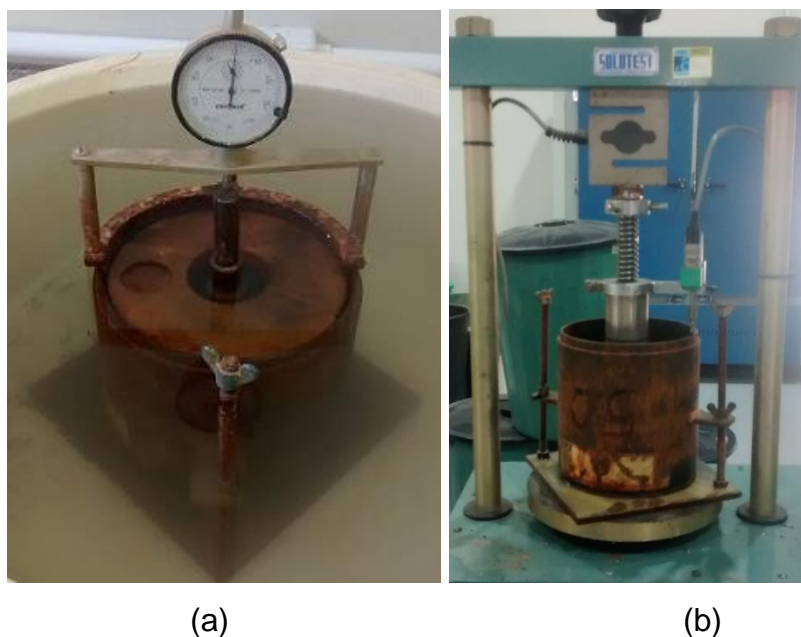
(b)

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

#### 2.2.4 índice Suporte Califórnia (ISC)

O rejeito de carvão retido nas peneiras 1/2", 3/8", #4, foi submetido ao Ensaio de Compactação (ABNT NBR 7182:2016), e determinado a umidade ótima. Em seguida utilizando o critério do CBR, compactou-se o material à umidade ótima. Este ensaio tem como objetivo determinar a porcentagem de resistência à penetração e a expansão do material. Por 96h (4 dias) o corpo de prova fica imerso em água (figura 6a). Ainda saturado é feito a leitura da expansão e posicionado na prensa (figura 6b) para obtenção dos valores de CBR.

Figura 6 – a) Corpo de prova imerso em água; b) Rompimento na prensa.



Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados consistem em dados de ensaios realizados para avaliar a aplicação do rejeito de carvão na pavimentação asfáltica.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

##### 3.1.1 Agregados

Tabela 1 – Caracterização do agregado mineral.

Ensaio	Brita 3/4"	Pedrisco	Pó de Pedra	Areia Artificial
Densidade real média	3,039	2,968	2,932	---
Densidade aparente média	2,971	---	---	---
Absorção média (%)	0,8	---	---	---
Equivalente de areia (%)	---	---	---	73
Sanidade (%)	2,06	---	---	---
Adesividade	Satisfatório	---	---	---

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).



A tabela 2 apresenta os valores quanto a granulometria do agregado de origem basáltica utilizado na pesquisa.

Tabela 2 – Granulometria dos agregados minerais.

Peneiras		Porcentagem Passante (%)		
mm	ASTM	BRITA 3/4"	PEDRISCO	Pó de Pedra
19,1	3/4"	100,00	100,00	100,00
12,7	1/2"	43,62	100,00	100,00
9,5	3/8"	14,35	99,84	100,00
4,8	#4	0,94	31,96	99,56
2	#10	0,69	2,43	69,03
0,42	#40	0,67	1,57	34,32
0,18	#80	0,63	1,41	23,52
0,075	#200	0,54	1,20	10,99

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

### 3.1.2 Ligante asfáltico

A tabela 3 apresenta as características do ligante asfáltico empregado na pesquisa.

Tabela 3 – Especificação do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 50/70).

Características	Unidade	Método de Ensaio	Resultados
Ponto de Amolecimento	°C	NBR 6560	48,6
Penetração, 100g, 5s, 25°C, 0,1mm	0,1 mm	NBR 6576	62
Viscosidade Saybolt Furol 135 °C	ssf		171
	ssf	NBR 14950	90
	ssf		35
Viscosidade Brookfield 135 °C - Spindie 21, 20 rpm	cP		330
	cP	NBR 15184	170
	cP		66
Ponto de Fulgor	°C	NBR 11341	310
Índice de Susceptibilidade Térmica	adimensional	-	-1,0
Ductibilidade a 25 °C, 5 cm/min	cm	NBR 6293	>100
Solubilidade em Tricloroetileno	% (em massa)	NBR 14855	99,9
Massa específica a 25 °C	kg/m <sup>3</sup>	NBR 6296	1,007

Fonte: CBB Asfaltos (2016).

### 3.1.3 Rejeito de carvão mineral

A análise granulométrica pode ser verificada na tabela 4. O ensaio granulométrico foi realizado apenas com o material passante na peneira de malha #40. Para obter material fino, foi necessário moer o material granular em equipamentos como: britador de mandíbula e gira jarros.

Tabela 4 – Granulometria do rejeito de carvão mineral.

Peneiras		Porcentagem Passante (%)
mm	ASTM	
19,1	3/4"	100,00
12,7	1/2"	100,00
9,5	3/8"	100,00
4,8	#4	100,00
2	#10	100,00
0,42	#40	100,00
0,18	#80	67,36
0,075	#200	23,96

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

Os resultados de caracterização física mostraram uma absorção média muito acima do agregado mineral. Sendo atingido 3,5% para o rejeito de carvão e apenas 0,8% para o agregado mineral. Deste modo, um agregado poroso tenderá a absorver maior quantidade de ligante asfáltico. Quanto ao Abrasão *Los Angeles*, a literatura orienta que o índice de quebra do agregado não ultrapasse os limites entre 40 e 44%. Deste modo, o material atende satisfatoriamente, tendo obtido 36,34% de quebra. A tabela 5, indica os ensaios de caracterização realizados do rejeito de carvão.

Tabela 5 – Caracterização do rejeito de carvão mineral.

Ensaio	Graúdo	Miúdo	Fino
Densidade real média	2,746	2,431	2,571
Densidade aparente média	2,507	---	---
Absorção média (%)	3,5	---	---
Abrasão <i>Los Angeles</i> (%)	36,34	---	---
Adesividade	Satisfatório	---	---

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

A tabela 6 mostra o ensaio para determinação do índice de forma do agregado. Sabe-se que para melhor acomodação dos grãos e maior resistência, o ideal é que a forma predominante seja cúbica. No entanto, os resultados indicaram que 71% da amostra possui forma lamelar.

Tabela 6 – Classificação da forma do rejeito de carvão mineral.

<b>Classificação da forma</b>	<b>Média das relações (%)</b>
Cúbica	26
Lamelar	71
Alongada	2
Alongada-lamelar	2

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

De acordo com a análise química realizada por espectrometria de fluorescência de Raios x e espectrometria de absorção atômica, o material é composto por sílica, alumina e óxido de ferro. A alta porosidade do rejeito de carvão pode estar associada à fração argilomineral. A tabela 7 apresenta os resultados da análise química do rejeito de carvão mineral.

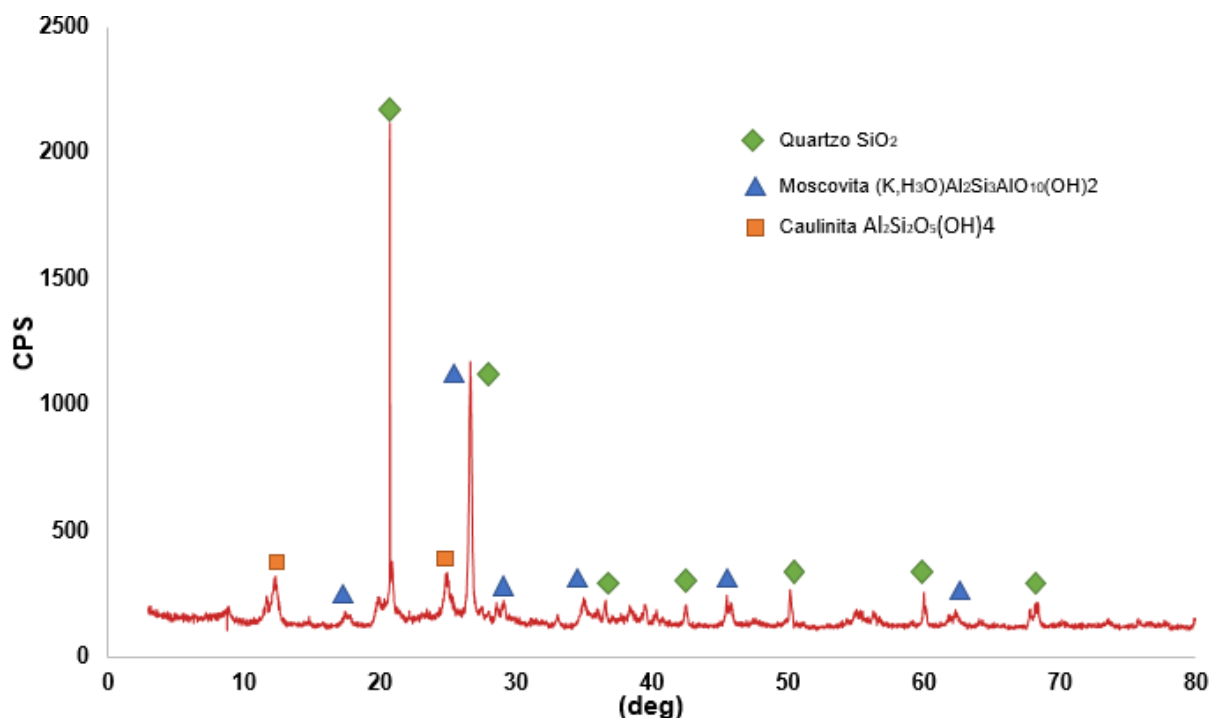
Tabela 7 – Composição química do rejeito de carvão mineral.

<b>Elementos</b>	<b>Teor (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	50,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,05
K <sub>2</sub> O	2,07
TiO <sub>2</sub>	0,96
CaO	0,49
Na <sub>2</sub> O	0,29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07
MgO	<0,05
MnO	<0,05
Perda ao fogo	15,18

Fonte: Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais – LDCM-SENAI SC (2016).

O Difractograma de raio-X (DRX) apresentou a presença de fases cristalinas e amorfas. A fase cristalina é constituída em sua maioria por quartzo, caulinita e moscovita. Os resultados obtidos estão apresentados na figura 8.

Figura 7 – Difratoograma de raio-X do rejeito de carvão mineral.



Fonte: CECAM – IDT (2017).

Na análise de caracterização e classificação de resíduos sólidos (ABNT NBR 10004:2004), o rejeito de carvão apresentou pH=6,28. De acordo com o ensaio de solubilização, o material apresentou concentrações de manganês e sulfato acima do padrão. O rejeito de carvão mineral foi classificado como resíduo não perigoso – classe IIA – não inerte. A tabela 8 mostra os resultados dos ensaios.

Tabela 8 – Análise de classificação de resíduos sólidos do rejeito de carvão.

Corrosividade	Não corrosivo
Reatividade	Não reativo
Lixiviação	Classe II
Solubilização	Classe IIA - não inerte

Fonte: Laboratório de Resíduos Sólidos - IPAT (2017).

## 3.2 DOSAGEM DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

### 3.2.1 Composição granulométrica

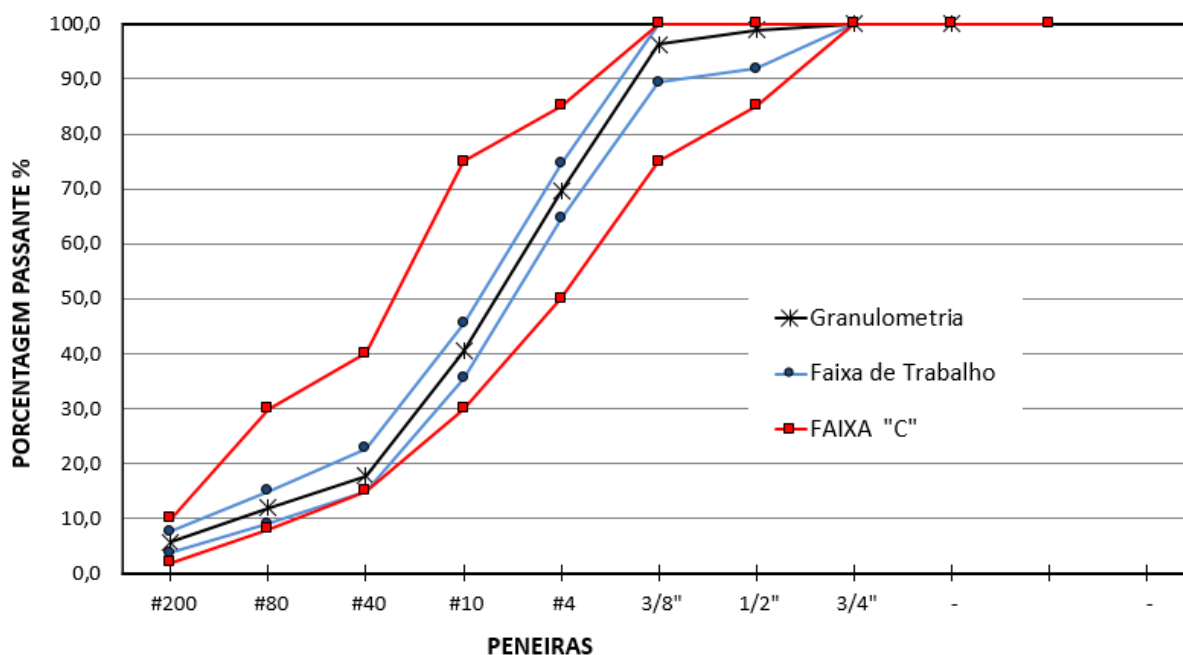
Para determinar a composição granulométrica da mistura de referência, utilizou-se os materiais disponíveis, sendo eles: brita  $\frac{3}{4}$ ", pedrisco e pó de pedra. A tabela 9 e a figura 9 apresentam a composição granulométrica da mistura de referência.

Tabela 9 – Composição granulométrica da mistura de referência. DEINFRA

Peneira mm	ASTM	Granulometria Encontrada (%)	Faixa de Trabalho	Especificação CAUQ Faixa "C"
19,1	3/4"	100,00	100,0 - 100,0	100,0 - 100,0
12,7	1/2"	98,85	91,8 - 100,0	85,0 - 100,0
9,5	3/8"	96,35	89,3 - 100,0	75,0 - 100,0
4,8	#4	69,55	64,6 - 74,6	50,0 - 85,0
2,0	#10	40,49	35,5 - 45,5	30,0 - 75,0
0,4	#40	17,77	15,0 - 22,8	15,0 - 40,0
0,2	#80	11,99	9,0 - 15,0	8,0 - 30,0
0,075	#200	5,71	3,7 - 7,7	2,0 - 10,0

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

Figura 8 - Composição granulométrica da mistura de referência de acordo com a Faixa "C".



Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

Com adição de material fino na granulometria obtida, espera-se menor índice de vazios e consequentemente maior resistência. Para determinar a composição granulométrica adição do rejeito, foi necessário adicionar o material nas porcentagem



de 1, 2 e 3% à mistura de referência. Esta adição corresponde ao preenchimento do material passante na peneira #40.

Tabela 10 – Composição dos agregados.

Mistura	Brita 3/4"	Pedrisco	Pó de pedra	Rejeito de carvão
CP-1	21%	29%	49%	1%
CP-2	21%	29%	48%	2%
CP-3	21%	29%	47%	3%

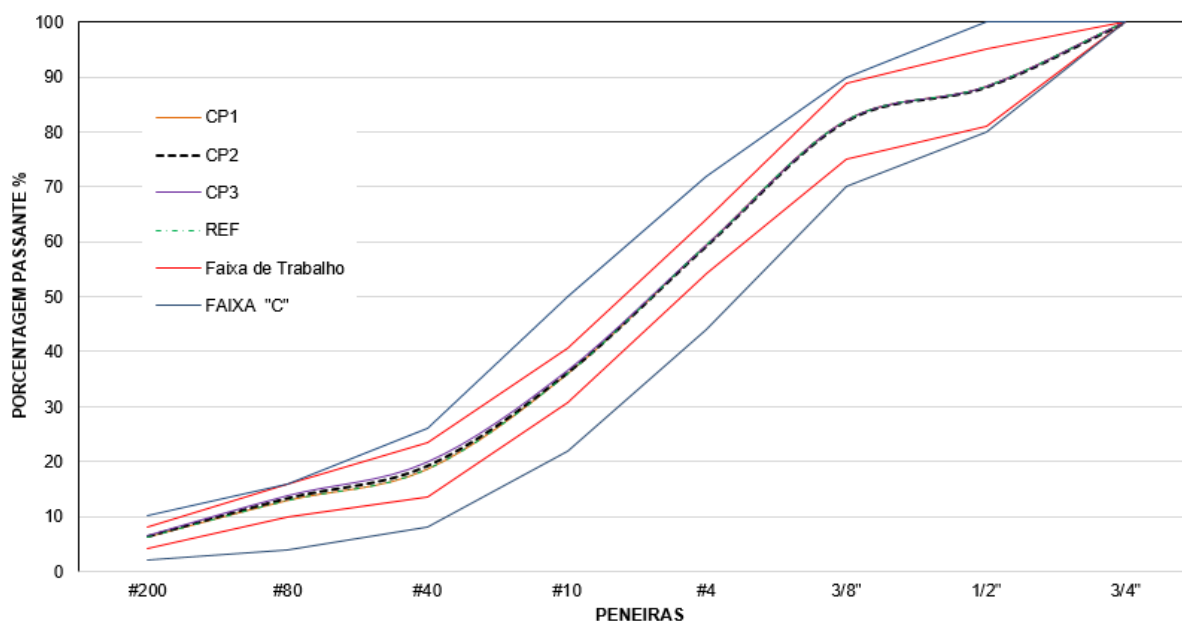
Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

Tabela 11 - Composição em massa das misturas com adição de rejeito de carvão.

PENEIRA		CP-1	CP-2	CP-3
mm	Malha			
19,1	3/4"	136,3	136,3	136,3
12,7	1/2"	70,7	70,7	70,7
9,5	3/8"	261,4	261,4	261,3
4,8	#4	271,3	267,8	264,3
2	#10	198,7	194,7	190,7
0,42	#40	65,3	67,7	70,3
0,18	#80	76,6	80,1	83,7
0,075	#200	70,1	71,6	73,1

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

Figura 9- Curvas granulométricas com adição de rejeito de carvão mineral.



Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

O acréscimo de material fino na mistura propicia um melhor contato entre os grãos, diminui o índice de vazios podendo aumentar a resistência à tração. Porém, existe um limite adequado de fíler que quando ultrapassado impede o contato dos grãos maiores causando assim a queda de resistência.

### 3.2.2 Dosagem Marshall

A tabela 12, mostra os resultados para dosagem Marshall da mistura de referência e com adição de rejeito de carvão.

Tabela 12 – Dosagem Marshall para as misturas.

Teor de Betume 4,1 %					
Misturas	REF	CP-1	CP-2	CP-3	Especificações
Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,665	2,693	2,683	2,672	
Volume de Vazios (V.V) %	3,38	2,17	2,54	2,96	3 - 5
Relação Betume Vazios (RBV) %	76,32	83,56	81,22	78,71	75 - 85
Vazios Agregado Mineral (VAM) %	14,29	13,19	13,52	13,89	
Volume de Betume (VB) %	10,9	11,02	10,98	10,93	
Força de Ruptura - 75 golpes (Kgf)	1054	1207	1278	1166	Mín 500

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

Verificou-se que o volume de vazios diminui com o acréscimo de rejeito de carvão mineral, entretanto abaixo da mistura de referência. Isso fortalece a teoria de que o material fino tem a finalidade de preenchimento.

### 3.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

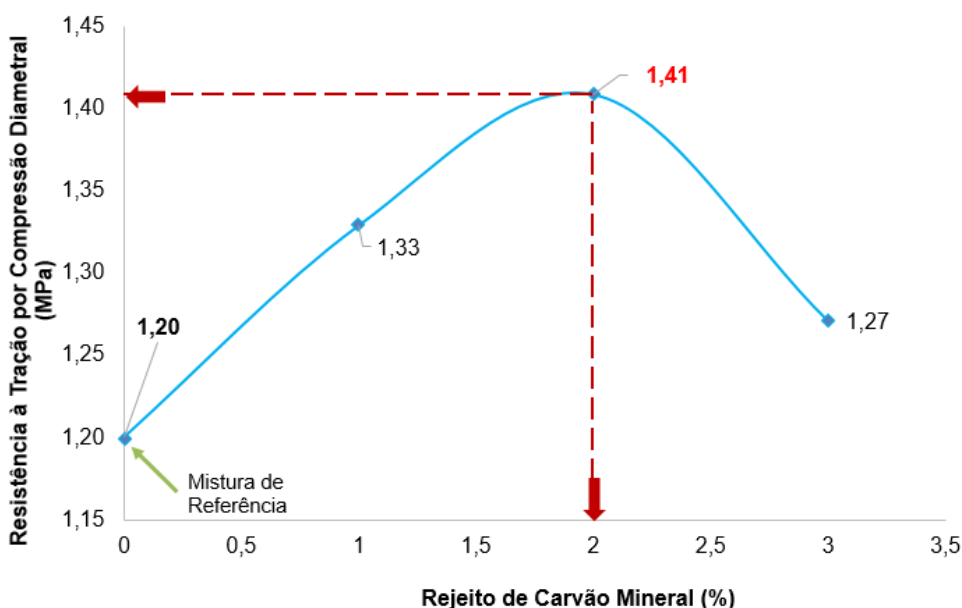
A tabela 13 e a figura 10 apresentam os resultados de resistência à tração por compressão diametral das misturas sem e com adição de rejeito de carvão mineral.

Tabela 13 – Resistência à tração das misturas asfálticas.

Rejeito de Carvão (%)	0	1	2	3
Resistência à Tração (MPa)	1,20	1,33	1,41	1,27

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

Figura 10 - Influência do rejeito de carvão na resistência à tração.



Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

A figura 11 mostra que a resistência a tração aumenta com o acréscimo de rejeito de carvão. No entanto, seu valor máximo de resistência é de 1,41 Mpa, com 2% de rejeito. A partir disso a adição de rejeito causa a redução na resistência à tração. Os resultados obtidos mostram que 2% de rejeito de carvão mineral como fíler na massa asfáltica é a proporção ótima para alcançar valores de resistência acima da norma (0,65 Mpa) e da mistura de referência.

### 3.3 ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA

A tabela 14 mostra os resultados obtidos a partir dos ensaios de compactação e CBR.

Tabela 14 – Caracterização da fração graúda do rejeito de carvão mineral.

Densidade Seca Máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	ISC (%)	Expansão (%)
1,668	8,70	7,20	0,17

Fonte: Kelyn Rodrigues Moreno (2017).

De acordo com o ensaio de compactação, a umidade ótima do material é de 8,70%. A porcentagem da resistência à penetração atingiu 7,20%. A norma especifica que para a camada de sub-base, os valores de CBR devem ser maiores que 20%, e para camada de base deve ser superior ou igual a 80%. Porém, vale salientar que até a

brita graduada simples, que possui alta resistência, pode sofrer perda de até 75% da resistência após a saturação (Balbo, 2007). A expansão do material foi de 0,17%, sendo assim adequa-se a norma, que determina no máximo 2% para reforço de subleito, 1% para sub-base e 0,5% para a base.

#### 4. CONCLUSÕES

Em relação a mistura asfáltica, a adição de rejeito de carvão mineral incrementou a resistência à tração da mesma. Esse ganho na resistência pode estar relacionado a finalidade do fíler na composição: preencher os vazios. Além de servir como material de enchimento, preenchendo os espaços vazios entre os agregados granulares, aumenta a viscosidade do CAP e incrementa o ponto de amolecimento. Evidentemente que tais benefícios só permanecem até dado consumo limite de material fino.

Nesta etapa do estudo, avaliou-se a possibilidade de incorporar o rejeito de carvão mineral na massa asfáltica mantendo o teor ótimo de ligante para a mistura convencional, ou seja, 4,1%. É importante ressaltar que ao adicionar rejeito de carvão, sendo um material mais fino, é esperado a necessidade de mais ligante asfáltico. A porcentagem ótima de rejeito necessária para atingir o máximo valor resistência à tração é de 2%.

O estudo que avaliou o rejeito de carvão de granulometria graúda para as demais camadas do pavimento, mostrou resistência a penetração de 7,2%. Quanto a expansão, o material atendeu satisfatoriamente aos limites especificados em norma. Sendo o máximo permitido de 2%, o rejeito de carvão obteve 0,17% apenas.

Estes resultados reforçam a possibilidade de estudos mais avançados que avaliem sua eficiência em diferentes proporções com materiais convencionais. Aplicar o rejeito de carvão na pavimentação contribui para melhorar a gestão ambiental, agregando valor ao que hoje não possui utilidade. Além de economizar materiais pétreos, reduzir o impacto ambiental e corrigir a escassez de material fino na massa asfáltica.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Dosagem Marshall que estime o teor ótimo de ligante para diferentes porcentagens de rejeito de carvão;

- Aplicação de rejeito de carvão mineral na mistura asfáltica nas demais granulometrias;
- Analisar a possibilidade da aplicação do rejeito de carvão mineral nas camadas de base ou sub-base do pavimento;
- Avaliar o custo de uma obra de pavimentação com incorporação do rejeito de carvão mineral;

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895/2016**: Solos – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 2016.

BALDO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI L. B., MOTTA L. M. G., CERATTI J. A. P., SOARES J. B., **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro. Petrobras. Abeda, 2006. 501p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 043/95**: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 054/97**: Equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 078/94**: Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 081/98**: Agregados - determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 083/98**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 084/95**: Agregado miúdo – determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 085/94**: Material finamente pulverizado – determinação da massa específica real. Rio de Janeiro, 1994.



\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 093/94: Solos – determinação de densidade real.** Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 035/98: Solos – determinação da abrasão “Los Angeles”.** Rio de Janeiro, 1998.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 136/2010-ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2010.

FILHO, J.R.A.; **Avaliação Ambiental e do Potencial de Aproveitamento de um Módulo de Rejeitos de Carvão na Região Carbonífera de Santa Catarina.** 2009. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Univ. Fed. Do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FILHO, J.R.A.; SCHNEIDER, I.A.H; BRUM, I.A.S; SAMPAIO, C.H.; MILTZAREK, G.; SCHNEIDER, C. **Caracterização de um Depósito de Rejeitos para o Gerenciamento Integrado dos Resíduos de Mineração na Região Carbonífera de Santa Catarina, Brasil.** Mineração Mining, Ouro Preto, p. 347-353, 2013.

NEVES, Carlos Augusto Ramos; SILVA, Luciano Ribeiro. **Universo da mineração brasileira.** DNPM, Brasília, 83 p, 2007.

PAVEI, E.; **Resistência à tração de misturas asfálticas com adição de cinza pesada.** Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 24 p. 2014.

SANTOS, Cassiano; TUBINO, Rejane; SCHNEIDER, Ivo André. Processamento mineral e caracterização de rejeito de carvão mineral para produção de blocos de concreto para pavimentação. **Ibracon**, Porto Alegre, v.8, n.1, p.15-24, fev. 2015.

ZILLI, C.B.; **Considerações Sobre o Aproveitamento dos Rejeitos de Produção do Carvão Catarinense.** 2002. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Univ. de São Paulo.